NÅGRA FOTONINDUCERADE KÄRNREAKTIONER VID HÖGA ENERGIER

Mats Nilsson



LUND 1981


UNIV.
LEIDEN
BIBL.

NÅGRA FOTONINDUCERADE KÄRNREAKTIONER

VID HÖGA ENERGIER

av

Mats Nilsson

Fil mag, Sm

Akademisk avhandling som för avläggande av

filosofie doktorsexamen

vid matematisk-naturvetenskapliga fakulteten

vid universitetet i Lund

kommer att offentligen försvaras

i fysiska institutionens föreläsningssal B

fredagen den 22 maj 1981

kl 10.15.

Organization
LUND UNIVERSITY
Department of Nuclear Physics
Sölvegatan 14
S-223 62 LUND, Sweden

Document name
DOCTORAL DISSERTATION

Date of issue
May 1981

CODEN:
LUNFD6/(NFFR-1004)/1-44/(1981)

Author(s)
Mats Nilsson

Sponsoring organization

Title and subtitle

Några fotoninducerade kärnreaktioner vid höga energier

Abstract

In this thesis some photonuclear reactions, measured at photon energies above the pion production threshold, are discussed. All measurements have been carried out with the radioactivity method. The irradiations have been performed at the 1.2 GeV electron synchrotron in Lund, using a bremsstrahlung photon beam. To identify the radioactive nuclei produced a Ge(Li)-detector has been used except for one reaction studied, where BF_3-tubes were used to detect delayed neutrons. The results have been compared to calculations based on the impulse approximation.

Key words

Classification system and/or index terms (if any)

Supplementary bibliographical information

Language
Swedish/English

ISSN and key title

ISBN

Recipient's notes

Number of pages
44

Price

Security classification

Distribution by (name and address)

I, the undersigned, being the copyright owner of the abstract of the above-mentioned dissertation, hereby grant to all reference sources permission to publish and disseminate the abstract of the above-mentioned dissertation.

Signature Mats Nilsson

Date 81-04-01

DOKUMENTDATABLAD enl SIS 61 41 21

NÅGRA FOTONINDUCERADE KÄRNREAKTIONER
VID HÖGA ENERGIER

av

Mats Nilson, Sm

Föreliggande avhandling omfattar följande arbeten:

I. PHOTOSPALLATION OF ^{51}V AT INTERMEDIATE ENERGIES

(tillsammans med B. Bülow, B. Johnsson och B. Forkman)
Zeitschrift für Physik A278(1976)89

II. THE $(\gamma,2n)$ REACTION IN ^{12}C AND ^{16}O AT INTERMEDIATE ENERGIES

(tillsammans med B. Johnsson och K. Lindgren)
Nuclear Physics A278(1977)365

III. PION PHOTOPRODUCTION ON ^{197}Au TO GROUND AND ISOMERIC STATES IN ^{197}Hg

(tillsammans med I. Blomqvist, B. Bülow, A. Fredrikson, B. Johnsson, G. G. Jonsson, K. Lindgren, R. Petersson, O. Glomset, N. Freed och W. Rhodes)
Zeitschrift für Physik A288(1978)313

IV. SOME $(\gamma,\pi^{-}xn)$ REACTIONS ON ^{197}Au AT INTERMEDIATE ENERGIES

(tillsammans med B. Bülow, B. Johnsson, G. G. Jonsson K. Lindgren och R. Petersson)
Zeitschrift für Physik A290(1979)393

V. PHOTOPRODUCTION OF π^{+} FROM ^{9}Be

(tillsammans med B. Schröder, B. Bülow, J. Grintals, G. G. Jonsson, B. Lindner, K. Srinivasa Rao and S. Susila)
Zeitschrift für Physik A294(1980)253

(ERRATUM, PHOTOPRODUCTION OF π^{+} FROM ^{9}Be)
Zeitschrift für Physik 298(1980)158

Fotoner har utnyttjats för studier av kärnreaktioner under mer än fyrtio års tid. Redan 1934 lyckades Chadwick och Goldhaber påvisa fotosönderdelning av deuterium /1/. Som strålkälla användes den naturligt förekommande isotopen ^{208}Tl, som emitterar fotoner med en energi av ungerfär 2,6 MeV. Denna energi visade sig vara tillräcklig för att bryta upp den relativt löst bundna deuteriumkärnan. Detta klassiska experiment och många andra bidrog till att intresset för artificiella strålkällor grundades. Partikelinducerade kärnreaktioner som t. ex. $^{7}Li(p,\gamma)^{8}Be$ (E_γ = 17,6 MeV) kom snart till användning, vilket gav strålkällor med högre fotonenergier. I början av fyrtiotalet konstruerades de första elektronacceleratorerna (betatronerna). Tack vare dessa fick man tillgång till betydligt intensivare fotonkällor och kärnfotoreaktioner kunde nu börja studeras mera ingående.

En av fördelarna med att använda fotoner i stället för starkt växelverkande partiklar (protoner, neutroner m.m.) vid studier av kärnreaktioner är att den primära växelverkan är elektomagnetisk och därmed välkänd. Denna växelverkan är betydligt svagare, vilket gör att kärnan man studerar inte i onödan störs . Fotonens relativt svaga växelverkan gör dessutom hela kärnan tillgänglig för studier (inte bara ytan). Samtidigt är då sannolikheten att åstadkomma en kärnreaktion mycket mindre för en foton än för t.ex. en proton.

Kärnfotoreaktioner har ofta studerats med s.k. bromsstrålning som fotonkälla. Bromsstrålningen åstadkommes genom att elektronerna från acceleratorn bromsas upp i något lämpligt material. Man får på detta sätt en intensiv fotonkälla, som emellertid har ett spektrum av fotonenergier, allt från noll och upp till elektronernas kinetiska energi. Experiment med monoenergetiska fotoner utfördes redan i början av sextiotalet (Saclay, Livermore). Det är först på senare år som man använt monoenergetiska fotoner för att studera kärnfotoreaktioner vid energier över pionproduktionströskeln (ca. 150 MeV). Samtliga arbeten i denna avhandling har utförts med bromsstrålning.

En foton kan absorberas antingen genom växelverkan med atomära elektroner eller med kärnan. De allra flesta fotonerna går opåverkade rakt igenom strålmålet (target) eller växelverkar med elektronerna, som omger atomkärnorna. Endast en mycket liten bråkdel av fotonerna ger upphov till kärnreaktioner. Sannolikheten (tvärsnittet) för att en kärnreaktion skall inträffa är således liten. Växelverkan mellan foton och kärna kan för fotonenergier upp till ca. 1000 MeV delas in i tre områden: jätteresonansområdet (10-40 MeV), kvasideutronområdet (40-150 MeV) samt fotomesonområdet (150 MeV och uppåt).

Fotoner med energin 10-40 MeV har en våglängd av ungefär samma storleksordning som atomkärnans radie. Vid dessa energier är sannolikheten därför stor att åstadkomma en kollektiv exitation av nukleonerna i kärnan. Den mest

välkända resonansen i detta energiområde brukar betecknas GDR (giant dipol resonance). Såväl resonansens vidd som toppvärdets läge beror på kärnans masstal. Denna resonans har makroskopiskt kunnat förklaras som en kollektiv dipolvibration mellan protoner och neutroner /2/. Även mikroskopiska modeller baserade på kärnans skalstruktur har använts /3/.

Med ökande energi blir fotonens våglängd kortare, och sannolikheten för växelverkan med grupper av nukleoner i kärnan ökar. Mest sannolik är en växelverkan med ett neutron-proton-par, en s.k. kvasideutron, i kärnan. Tvärsnittets storlek och form i detta energiområde har av Levinger /4/ kopplats till tvärsnittet för fotosönderdelning av fria deutroner. Kunskapen inom området är dock fortfarande relativt dålig, men det bör påpekas, att resultaten i min avhandling påverkas mycket litet av tvärsnitten inom detta energiområde.

När fotonenergin är högre än ca. 150 MeV, kan fotonen växelverka med enskilda nukleoner i kärnan. En s.k. isobar bildas, vilken snabbt (ca. 10^{-24} sek.) sönderfaller till en pion och en nukleon. Om denna primära växelverkan sker relativt ytligt i kärnan, finns en viss sannolikhet att pionen eller både pionen och nukleonen lämnar kärnan utan ytterligare växelverkan. Resultatet blir, om restkärnans excitationsenergi är mindre än nukleonernas bindningsenergi, en enkel reaktion av typen (γ,π) eller i det senare fallet (γ,n) eller (γ,p) . Vanligare är att åtminstone någon av partiklarna på sin väg ut ur kärnan

växelverkar med andra nukleoner, vilket kan ge upphov till en skur av partiklar ut från kärnan. Denna process leder till att man får en restkärna med ett överskott av energi (exitationsenergi). Kärnan kan nu , om excitationsenergin är tillräckligt stor, emittera en eller flera nukleoner eller grupper av nukleoner. Denna två-stegs-process, där man efter den primära växelverkan först får en snabb kaskad av partiklar ut ur kärnan och sedan en långsammare förångning av partiklar från en exciterad restkärna, föreslogs 1947 av Serber /5/. En mängd olika kärnor (spallationsprodukter) kan bildas genom denna kaskad-förångnings-process. För tyngre kärnor konkurrerar dock fissionsprocessen med förångningssteget, speciellt vid höga excitationsenergier. Beräkningar enligt denna två-stegsmodell har flitigt använts för analys av spallations- och fissions-experiment.

Tvärsnittet för en viss reaktion kan i vissa fall bestämmas genom att efter avslutad bestrålning detektera reaktionsprodukten genom dess radioaktiva sönderfall. Detta kan utföras genom att identifiera förekomsten av en för sönderfallet karakteristisk gammaenergi med hjälp av t.ex. en Ge(Li)-detektor. Genom bestämning av antalet gammmakvanta med given energi vid olika tidpunkter kan även halveringstiden kontrolleras. Från intensiteten på gammastrålningen kan utbytet, dvs. antalet vid bestrålningen producerade kärnor, beräknas. Denna metod, s.k. aktiveringsanalys, har använts i samtliga arbeten i min avhandling. Bestrålningarna har alla utförts i Lund vid Fysiska Institutionens elektronsynkrotron, från vilken

bromsstrålning med maximal fotonenergi från 75 till 800 MeV har utnyttjats. Eftersom bromsstrålning ger ett kontinuerligt spektrum av fotoner, har utbytet mätts vid flera olika elektronenergier. Beräkning av tvärsnitt från uppmätta utbyten har gjorts enligt en metod utarbetad av Tesch /6/. I vissa fall har enbart medeltvärsnitt bestämts, varvid den s.k. 1/E-approximationen har använts.

I arbete I har fotospallation av ^{51}V studerats. Utbytena för ett stort antal slutprodukter har mätts och medeltvärsnitt har beräknats och jämförts med kaskad-förångningsberäkningar. Medeltvärsnitten har även analyserats med Rudstams fem-parameter-formel /7/. Vidare har en N/Z-dispersionskurva i massområdet A=42-48 framtagits och jämförts med resultat från protoninducerad spallation av ^{51}V. Efter publicering av arbete I har utbyten vid fotospallation av ^{51}V uppmätts av di Napoli et al /8/, som använt samma analysmetoder, och resultat har erhållits som väl överenstämmer med dem i arbete I.

I arbete II har $(\gamma,2n)$-reaktionen i ^{12}C och ^{16}O (dvs. fotoproduktion av ^{10}C respektive ^{14}O) undersökts. Jämförelse har gjorts med tvärsnitten för (γ,n)-reaktionen i ^{12}C och ^{16}O samt med tvärsnitten för motsvarande protoninducerade reaktioner, (p,pn) och (p,p2n). Resultaten har även jämförts med kaskad-förångningsberäkningar.

I arbete III har fotoproduktion av π^- i ^{197}Au studerats. Utbyten för såväl grundtillståndet som isomera

tillståndet i ^{197}Hg har bestämts. För att entydigt identifiera slutprodukterna har kemisk separation använts, dvs. ur det bestrålade guldprovet har på kemisk väg kvicksilver isolerats. Resultaten har jämförts med helt igenom teoretiska beräkningar baserade på den s.k. DWIA-formalismen (destorted wave impulse approximation). För kärnvågfunktionerna har en förenklad beskrivning använts. Eftersom de uppmätta utbytena är behäftade med relativt stora fel, har inget försök gjorts att bestämma tvärsnitten. De teoretiskt beräknade tvärsnitten har i stället omvandlats till utbyten och jämförts med de experimentellt bestämda utbytena.

Arbete IV är närmast att betrakta som en biprodukt till arbete III. Några $(\gamma,\pi^{-}xn)$-reaktioner i ^{197}Au har mätts och jämförts med kaskad-förångnings-beräkningar samt med ett tidigare liknande experiment.

I arbete V har reaktionen $^{9}Be(\gamma,\pi^{+})^{9}Li$ undersökts. Eftersom ^{9}Li emitterar fördröjda neutroner, har i detta experiment använts en neutrondetektor i stället för som i tidigare arbeten en Ge(Li)-detektor. Större detektoreffektivitet har på detta sätt uppnåtts. Utbyten med relativt små statistika fel har mätts vid ett stort antal energier, och tvärsnitt har därför kunnat beräknas. Resultaten har jämförts med teoretiska beräkningar liknande dem i arbete III. Arbete V följs av ett erratum rörande en figur i denna publikation.

För dessa arbetens tillkomst har naturligtvis en viss arbetsuppdelning skett. Detta gäller speciellt de teoretiska beräkningarna i arbete III och V, vilka har gjorts av N. Freed och W. Rhodes respektive K. Srinivasa Rao och S. Susila. Det bör även påpekas, att den kemiska separationen i arbete III och IV, har utförts av O. Glomset.

Samtliga arbeten har tillkommit inom kärnfotogruppen i Lund. Till min handledare, professor Bengt Forkman, vill jag rikta ett varmt tack för allt stöd han givit mig under dessa arbetens tillkomst. Jag vill också tacka gruppens övriga medlemmar, speciellt mina medförfattare, för ett stimulerande samarbete med många givande diskussioner. Till sist vill jag också tacka synkrotron- och verkstads-personalen för all den hjälp, som kommit mig till del.

REFERENSER

1. J. Chadwick and M. Goldhaber, Nature 134(Aug 1934)237

2. M. Goldhaber and E. Teller, Phys Rev 74(1948)1046

3. D. H. Wilkinson, Physica 22(1956)1039
G. E. Brown and M. Bolsterli, Phys Rev Lett 3(1959)472

4. J. S. Levinger, Phys Rev 84(1951)43
J. S. Levinger, Phys Lett 82B(1979)181

5. R. Serber, Phys Rev 72(1947)1114

6. K. Tesch, Nucl Instr Meth 95(1971)245

7. G. Rudstam, Z Naturforschg 21a(1966)1027

8. V. di Napoli, F. Salvetti, M. L. Terranova,
J. B. Martins, O. A. P. Tavares and
H. G. de Carvalho, CBPF A0014/77

SUMMARY

In this thesis some photonuclear reactions are investigated at photon energies above the pion production threshold. All measurements have been performed at the 1.2 GeV electron synchrotron in Lund, using a bremsstrahlung photon beam and activation analysis.

In paper I,II and IV more or less complex reactions have been studied. The analysis have almost entirely been based on cascade-evaporation calculations. In paper I, photospallation of ^{51}V, the results have also been analysed with the five-parameter Rudstam formula.

Paper III and V have been devoted to photoproduction of pions. Photoproduction of π^- on ^{197}Au leading to the ground and isomeric states in ^{197}Hg have been studied in paper III. In paper V the reaction $^{9}Be(\gamma,\pi^+)^{9}Li$ has been studied. In both papers the experimental results have been compared to theoretical calculations based on the impulse approximation.